

Механізми інтенсифікації процесу сорбції іонів важких металів сухим магнітокерованим біосорбентом для очищення стічних вод

Механизмы интенсификации процесса сорбции ионов тяжелых металлов сухим магнитоуправляемым биосорбентом для очистки сточных вод

Mechanisms of intensification of sorption process of heavy metal ions by dry magnetically controlled biosorbents for the purification of the waste water

1. **Номер державної реєстрації теми - 0115U000401,**
2. **Науковий керівник - д.т.н., проф. Горобець С.В., Горобец С.В., Gorobets S.V.**

**3. Суть розробки, основні результати.
(укр.)**

Розроблено новітню методику виготовлення сухого магнітокерованого біосорбенту (МКБС) на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* з використанням магнітної рідини з магнітною сприйнятливістю, достатньою для ефективного вилучення біосорбенту з потоку рідини забрудненої іонами важких металів, високоградієнтними магнітними сепараторами (ВГМС), ефективність яких визначається структурою високоградієнтних ферромагнітних насадок (ВГФН). Отримані результати показали, що значення діапазону зміни величини магнітної сприйнятливості для сухого МКБС, виготовленого методом магнітогідродинамічного перемішування (МГДП) в схрещених магнітному та електричному полях на основі дріжджів *S. cerevisiae*, на порядок менша, ніж для сухого МКБС, виготовленого методом механічного перемішування. Досліджено механізми інтенсифікації процесу сорбції іонів важких металів сухим МКБС для очищення стічних вод від іонів важких металів. Експериментально показано, що сорбційна здатність магнітоміченого біосорбенту відносно катіонів Cu^{2+} , виготовленого за МГДП в схрещених електричному і магнітному полях, на 30% більше, ніж у магнітоміченого біосорбенту, виготовленого методом механічного перемішування. Досліджено ефективність процесу біосорбції іонів важких металів сухим МКБС, механізми зв'язування магнітних наночастинок з клітинами біосорбенту на основі дріжджів *S. cerevisiae* при механічному та МГДП з магнітною рідиною і досліджено проблему стабільності магнітних властивостей сухого біосорбенту та досліджено ефективність вилучення відпрацьованого сухого МКБС за допомогою ВГМС з ВГФН. Результати розробки відповідають світовому рівню. Створений біосорбент впроваджено на підприємстві в м. Славутич, Київська обл., а саме в хіміко-аналітичній лабораторії комунального підприємства «Управління житлово-комунального господарства» для видалення іонів заліза, фосфатів та важких металів.

(рос.)

Разработана новая методика изготовления сухого магнитоуправляемого биосорбента (МУБС) на основе дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с использованием магнитной жидкости с магнитной восприимчивостью, достаточной для эффективного извлечения биосорбента из потока жидкости загрязненной ионами тяжелых металлов, высокоградиентными магнитными сепараторами (ВГМС), эффективность которых определяется структурой высокоградиентных ферромагнитных насадок (ВГФН). Полученные результаты показали, что значение диапазона изменения величины магнитной восприимчивости для сухого МУБС, изготовленного методом магнитогидродинамического перемешивания (МГДП) в скрещенных магнитном и электрическом полях на основе дрожжей *S. cerevisiae*, на порядок меньше, чем для сухого МУБС, изготовленного методом механического перемешивания. Исследованы механизмы интенсификации процесса сорбции ионов тяжелых металлов сухим МУБС для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Экспериментально показано, что сорбционная способность магнитоуправляемого биосорбента относительно катионов Cu^{2+} , изготовленного по МГДП в скрещенных электрическом и магнитном полях, на 30% больше, чем в магнитоуправляемого биосорбента, изготовленного методом механического

перемешивания. Исследована эффективность процесса биосорбции ионов тяжелых металлов сухим МУБС, механизмы связывания магнитных наночастиц с клетками биосорбента на основе дрожжей *S. cerevisiae* при механическом и МГДП с магнитной жидкостью и исследована проблема стабильности магнитных свойств сухого биосорбента и исследована эффективность извлечения отработанного сухого МУБС с помощью ВГМС с ВГФН. Результаты разработки соответствующих мировому уровню. Созданный биосорбент внедрен на предприятии в г. Славутич, Киевская обл., А именно в химико-аналитической лаборатории коммунального предприятия «Управление жилищно-коммунального хозяйства» для удаления ионов железа, фосфатов и тяжелых металлов.
(англ.)

The newest method of manufacturing a dry magnetite biosorbent (MBS) on the basis of *Saccharomyces cerevisiae* yeast was developed using a magnetic fluid with a magnetic susceptibility sufficient to effectively remove the biosorbent from the liquid stream contaminated by heavy metal ions, high-gradient magnetic separators (HGMS), whose efficiency is determined by the structure of high-gradient ferromagnetic matrixs (HGFM). The obtained results showed that the range of change of the value of magnetic susceptibility is one order of magnitude less for a dry MBS produced by the method of magnetohydrodynamic mixing (MHDM) in crossed magnetic and electric fields on the basis of yeast of *S. cerevisiae* than for dry ICBM made by the method of mechanical mixing. The mechanisms of intensification of the process of sorption of heavy metal ions by dry MBSs for purification of waste water from heavy metal ions are investigated. It has been experimentally shown that the sorption capability in relation to cations of Cu^{2+} is 30% greater for a magnetically modified biosorbent produced by MHDP in crossed electric and magnetic fields than for a magnetically modified biosorbent made by mechanical stirring. The efficiency of the process of biosorption of heavy metal ions by dry MBSs, the mechanisms of binding of magnetic nanoparticles with cells of the biosorbent on the basis of yeast of *S. cerevisiae* in mechanical and MHDP with magnetic fluid were investigated. The problem of stability of the magnetic properties of dry biosorbent and the efficiency of the extraction of the spent dry MBS with the help of HGMS with HGFM were investigated. The results of the research correspond to the world level. The created biosorbent has been introduced at the enterprise in Slavutych, Kyiv region, namely, in the chemistry and analytical laboratory of the communal enterprise "Department of Housing and Communal Services" for the removal of iron ions, phosphates and heavy metals.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент України на корисну модель № 101016, МПК (2006.01) C02F 1/48. Спосіб отримання магнітокерowanego біосорбенту / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Чиж Ю. М., Ковальов О.В.; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № u201500909; Заявл. 05.02.2015; Опубл. 25.08.2015, бюл. № 16.
2. Патент України на корисну модель № 114299, МПК (2006.01) C02F 1/48. Спосіб отримання магнітокерowanego біосорбенту / Горобець С.В., Горобець О.Ю., Киричок Л.В., Ковальов О.В.; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № u201607800; Заявл. 15.07.2016; Опубл. 10.03.2017, бюл. № 5.
3. Патент України на корисну модель № 108506, МПК8 B28B 3/00, B01J 20/06. Магніточутливий сорбент важких металів з водних середовищ / Горбик П.П., Петрановська А.Л., Кусяк А.П., Туранська С.П., Абрамов М.В., Горобець С.В., Васильєва О.А.; Інститут хімії поверхні ім. О.І.Чуйка НАН України, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № u201512156; Заявл. 08.12.15; Опубл. 25.07.2016, бюл. № 14.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати досліджень відповідають світовому рівню та перевищують їх. Згідно аналізу літературних джерел тривалість процесу біосорбції іонів важких металів становить декілька годин при виготовленні магнітокерowanego біосорбенту методом механічного перемішування нативної біомаси дріжджів з частинками магнетиту, також

максимальна сорбційна ємність такого магнітокерованого біосорбенту знижується на десятки відсотків у порівнянні з сорбційною ємністю нативних дріжджів. А запропонований нами метод отримання сухого магнітокерованого біосорбенту за допомогою магнітогідродинамічного перемішування в зовнішніх електричному і магнітному полях в процесі штучного надання біосорбенту магнітних властивостей, зменшує тривалість цього процесу у рази, а сорбційна здатність при цьому не знижується. До того ж отриманий сухий магнітокерований біосорбент можливо зберігати на тривалий час. Розроблена установка є унікальною, оскільки отриманий з її застосуванням магнітокерований біосорбент за своєю якістю перевищує світові аналоги.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість на 30% та підвищити якість сухого магнітокерованого біосорбенту за рахунок:

- відсутності зниження сорбційної ємності сухого магнітокерованого біосорбенту на декілька десятків відсотків в порівнянні з сорбційною ємністю нативних дріжджів;
- виготовлення сухого магнітокерованого біосорбенту зі стабільними магнітними властивостями;
- відсутності процесу десорбції іонів міді при застосуванні магнітогідродинамічного перемішування в зовнішніх електричному і магнітному полях в процесі штучного надання біосорбенту магнітних властивостей.

Ефективність сухого магнітокерованого біосорбенту полягає в тому, що він не кластеризується, має високу сорбційну ємність, ефективність сорбції іонів Cu^{2+} складає 93-95%.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Технології виготовлення сухого магнітокерованого біосорбенту іонів важких металів із стічних вод можуть застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, приладобудуванні, металургії, електротехнічній промисловості, де широко розповсюджені технології гальванічного виробництва і гостро стоїть проблема очищення стічних вод від іонів важких металів.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю адаптовані до існуючого основного силового обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Запропоновано раціональні параметри отримання сухого магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *S. cerevisiae* методом магнітогідродинамічного перемішування в схрещених електричному і магнітному полях. Розроблено біотехнологію використання біосорбенту у промислових умовах для вилучення іонів важких металів та інших домішок.

Показники ефективності очищення стічних вод м. Славутич (Чернігівська обл.) сухим МКБС наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати роботи очисних споруд м.Славутич при внесенні сухого МКБС.

№	Найменування показника	Стічні води, які надходять на очисні споруди	Доочищені стічні води, при внесенні сухого МКБС	Ефект очистки, %	Гранично-допустимий скид (ГДС)
---	------------------------	--	---	------------------	--------------------------------

1	2	3	4	5	6
1.	ХСК, мгО/дм ³	428±6	76,2±2,0	82,2	80,0
2.	рН, од.	7,59±0,05	7,45±0,03	–	6,5 – 8,5
3.	Азот амонійних солей, мг/дм ³	38,6±0,8	10,8±0,4	72,0	11,3
4.	Нітриту, мг/дм ³	0,48±0,05	0,03±0,01	93,7	0,04
5.	Фосфати, мг/дм ³	8,9±0,18	3,27±0,11	63,2	4,0
6.	Запах, бали	V	I	–	I
7.	Залізо, мг/дм ³	0,62±0,05	0,18±0,01	70,9	0,38

Результати даного експерименту свідчать про позитивний ефект сухого МКБС на ефективність роботи очисних споруд м. Славутича. При цьому значно покращився ефект очистки по: ХСК, нітриту, фосфатам, залізу загальному. Доочищена стічна вода не перевищує нормативних показників і відповідає нормам, які встановлені «Дозволом на спеціальне водокористування». Сухий МКБС рекомендовано для постійного використання для доочищення стічних вод м. Славутича. (Акти впровадження: №41 від 22.03.2017 р.; № 36 від 24.03.2017 р.; № 07-04/564 від 31.03.2017 р.).

Створений біосорбент впроваджено на підприємстві в м. Славутич, Київська обл., а саме в хіміко-аналітичній лабораторії комунального підприємства «Управління житлово-комунального господарства» для видалення іонів заліза, фосфатів та важких металів.

Результати роботи впроваджено в учбові курси «Основи біомедичного застосування високоградієнтної магнітної сепарації», «Біосепарація» та «Прилади і системи неруйнівного контролю», які вивчаються студентами факультету біотехнології і біотехніки КПІ ім. Ігоря Сікорського, зокрема у вигляді 10 лабораторних робіт.

За матеріалами роботи захищено три кандидатські дисертації за темами: «Технологія виявлення і локалізації біогенних магнітних наночастинок та передумови їх утворення», «Біотехнологія на основі магнітомічення мікроорганізмів» та «Магнітогідродинамічні ефекти при магнітоелектролізі у неоднорідних магнітних полях за наявності кластерів в електролітах», прийнято до захисту 1 кандидатську дисертацію за темою «Біотехнологія вилучення іонів важких металів та інших домішок сухим магнітокерованим біосорбентом на основі *Saccharomyces cerevisiae*» (захист відбудеться 09.02.2017 року); підготовано до друку 1 монографію.

10. Назва організації, телефон, E-mail

Національний технічний університет України «Київських політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Факультет біотехнології і біотехніки, кафедра біоінформатики, 204-99-37, pitbm@ukr.net

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. С.В. Горобець, Ю.М. Чиж, О.В. Ковальов, В.І. Желева, І.О. Шпетний. Ефективність магнітокерованого біосорбенту на основі дріжджів *Sacharomyces cerevisiae* для очищення стічних вод // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2015. – №3. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/14115>
2. Горобець С.В., Михайленко Н. О., Макачук О. В., Донцова Т. А., Астрелін І. М. Очищення забруднених водних середовищ магнітокерованими сапонітовими сорбентами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2015 - 4/10 (76)
3. S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, O.V. Kovalyov, A.V. Sopina, Yu.M. Chyzh, S.V. Cherepov Fractal dimension and magnetic susceptibility of magnetically labeled biosorbent based on *Saccharomyces cerevisiae* yeast // Functional materials, 2015. – 22(2). – P.193–198. <http://dx.doi.org/10.15407/fm22.02.193>.
4. O. Yu. Gorobets, Yu.I. Gorobets, V.P. Rospotniuk, A.A. Kyba, Yu.A. Legenkiy Liquid-liquid phase separation occurring under the influence inhomogeneous magnetic field in the process of the metal and etching of the magnetized ferromagnetic ball // Journal of Solid State Electrochemistry, 2015. – 19 (10). – P. 3001–3012. doi:10.1007/s10008-015-2904-x.

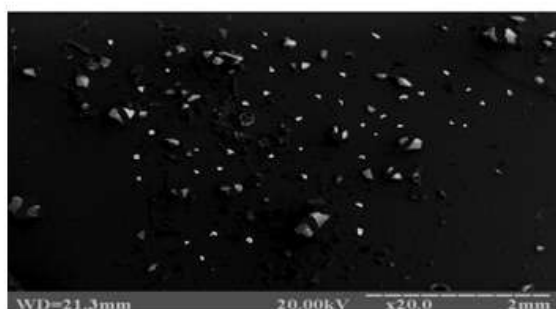
5. Yu.I. Gorobets, O.Yu. Gorobets Statistical characteristics of trajectories of diamagnetic unicellular organisms in a magnetic field // Progress in biophysics and molecular biology, 2015. – 117(1):125-8. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2014.06.001.
6. Yu.I. Gorobets, O.Yu. Gorobets, A.A. Kyba, Yu.A. Legenkiy Phase Separation of an Electrolyte during Etching and Sedimentation of Metals on a Surface of a Ferromagnetic Metal Ball in an External Magnetic Field // Materials Science & Engineering A, 2015. – 5(3-4). – P. 124–135. doi:10.17265/2161-6213/2015.3-4.004
7. O. Yu. Gorobets, Yu.I. Gorobets, V.P. Rospotniuk Magnetophoretic potential at the movement of cluster products of electrochemical reactions in an inhomogeneous magnetic field // Journal of Applied Physics, 2015. – № 118. – P. 073902(1-6). <http://dx.doi.org/10.1063/1.4928671>.
8. Кігель Н.Ф., Горобець С.В., Булаєвська М.О., Гнатюк А.О., Голуб О.В. Метод детекції біогенних магнітних наночастинок у біологічному матеріалі різної природи // Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. / НААН України; Ін-т прод.ресурсів НААН України. – К.: ННЦ «ІАЕ», 2016. – № 7, С. 33–37.
9. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Мікешина Г.І. Сили взаємодії магнітних наночастинок з везикулою всередині еукаріотичної клітини. Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України «КПІ», Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії.– К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 235 с.
10. S. Gorobets, O. Gorobets, Yu. Chyzh, O. Kovalev, V. Perizhok, V. Golub Analysis of effectiveness of magnetically labeled biosorbent obtained through the mechanical and magnetohydrodynamic stirring // EUREKA: Physics and Engineering, 2016. – 5. – P. 37–43. doi: 10.21303/2461-4262.2016.00165
11. Gorobets, S.V., Gorobets, O.Yu., Kovalyov, O.V., Hetmanenko, K.A., Kovalyova, S.O. Examining the properties of dry magnetically controlled biosorbent, obtained by the method of mechanical and magnetohydrodynamic agitation // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, 2016. – 6/10(84). – P. 57–63. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86077>.
12. С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, О.В. Ковальов, Ю.В. Шатохіна, С.О. Ковальова Практичне використання сухого магнітокерованого біосорбенту в системі очищення господарсько-побутових стічних вод // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016.– 6/3(32). – С.46–51. <http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2016.87129>
13. O.Yu. Gorobets, Yu.I. Gorobets, V.P. Rospotniuk, A.A. Kyba, V.I. Grebinahaa Liquid-liquid phase separation of an electrolyte at metals deposition on the surface of a steel plate under the influence of two-domain magnetic system // Journal of Molecular Liquids, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.024>
14. O.Yu. Gorobets, Yu.I. Gorobets, V.P. Rospotniuk, V.I. Grebinaha,A.A. Kyba. Liquid-liquid phase separation and cluster formation at deposition of metals under inhomogeneous magnetic field Poster presentation at the JEMS, PS.1.043 (Glasgow, United Kingdom, 21-26 August, 2016).
15. O.Yu. Gorobets, Yu.I. Gorobets, V.P. Rospotniuk, V.I. Grebinaha, A.A. Kyba.Liquid-liquid phase separation of an electrolyte at metals deposition on the surface of a steel plate under the influence of two-domain magnetic system Poster presentation at the PLM MP (Kyiv, Ukraine, May 27-31, 2016).
16. Gorobets O.Y., Gorobets Y.I., Rospotniuk V.P., Kyba A.A . Liquid-liquid phase separation and cluster formation at deposition of metals under an inhomogeneous magnetic field // Joint European Magnetic Symposia (JEMS), 2016, Glasgow, UK. <http://jems2016.iopconfs.org/>
17. S. Gorobets, Yu. Karpenko The development of a magnetically operated biosorbent based on the yeast *Saccharomyces cerevisiae* for removing copper cations Cu^{2+} // Eastern-European Jorنال of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/6 (85). – P. 28–34.
18. Н. І. Мікешина, Я.А. Дарменко, О. Ю. Горобець, С.В. Горобець, І. В. Шарай, О.М. Лазаренко. Influence of biogenic magnetic nanoparticles on the vesicular transport / Paper ID: pap-73-cat-8-mikeshyna // Acta Physica Polonica A, 2017.

Тези доповідей на наукових конференціях та семінарах

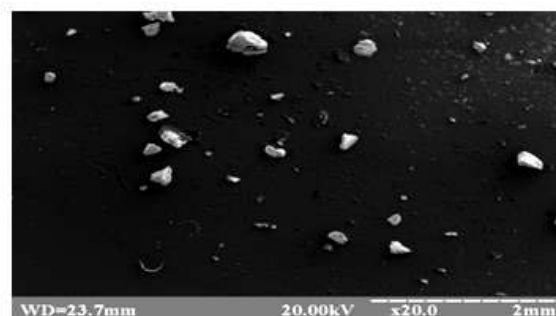
1. Бутенко К.О., Чиж Ю.М., Горобець С. В. Використання гіпертермії для мікроорганізмів – збудників запальних процесів. X міжн. науково-практична інтернет конференція «Проблеми та перспективи розвитку науки на початку третього тисячоліття у країнах Європи та Азії» 30 – 31 січня 2015р.
2. А.В. Підгорна, Є.В. Пилипчук, С.В. Горобець, П.П. Горбик. Синтез наночастинок срібла, стабілізованих полівінілпіролідом, та колоїдних наноструктур типу Fe₃O₄/Ag // Біотехнологія ХХІ століття: IX Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 170-й річниці від дня народження І.І.Мечникова. Київ, 24 квітня 2015 р. – К., 2015. – С. 125.
3. Горобець С. В., Хавень О. Г., Медведєв О. В. Потенційні продуценти біогенних магнітних наночастинок серед бактерій-сорбентів іонів важких металів; Біотехнологія ХХІ століття: IX Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 170-й річниці від дня народження І.І.Мечникова. Київ, 24 квітня 2015 р. – К., 2015. – С. .
4. Підгорна А. В., Медведєв О. В., Горобець С. В. Біоінформаційний аналіз гомологів білків у бактерій, здатних до біомінералізації наночастинок магнетиту; Біотехнологія ХХІ століття: IX Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена 170-й річниці від дня народження І.І.Мечникова. Київ, 24 квітня 2015 р. – К., 2015. – С. .
5. Горобець С.В., Чиж Ю.М., Ковальов О.В., Шпетний І.О. Ефективність магнітокерowanego біосорбенту на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* для очищення стічних вод // «Біотехнологія ХХІ століття»: тези доповідей IX Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченій 170 річниці від дня народження Іллі Мечникова (Київ, 24 квітня 2015р.). – С. 120-121
6. Горобець С.В., Ковальов О.В., Чиж Ю.М. Отримання сухого магнітокерowanego біосорбенту на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* для очищення стічних вод // «Біотехнологія ХХІ століття»: тези доповідей IX Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченій 170 річниці від дня народження Іллі Мечникова (Київ, 24 квітня 2015р.). – С. 116.
7. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Чиж Ю.М. МЕТОДИ МАГНІТНОГО МІЧЕННЯ БІОБ'ЄКТІВ // «Біотехнологія ХХІ століття»: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 135-й річниці від дня народження Олександра Флемінга (Київ, 22 квітня 2016) [Електронне видання], стр.116.
8. Горобець С.В., Ковальов О.В., Періжок В.І. СТАБІЛЬНІСТЬ МАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАГНІТОКЕРowanego БІОСОРБЕНТУ НА ОСНОВІ ДРІЖДЖІВ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* // «Біотехнологія ХХІ століття»: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 135-й річниці від дня народження Олександра Флемінга (Київ, 22 квітня 2016) [Електронне видання], стр.118.
9. Горобець С.В., Чиж Ю.М. ЕФЕКТИВНІСТЬ МАГНІТОКЕРowanego БІОСОРБЕНТУ, ВИГОТОВЛЕНОГО МЕТОДАМИ МЕХАНІЧНОГО ТА МАГНІТОГІДРОДИНАМІЧНОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ // «Біотехнологія ХХІ століття»: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої 135-й річниці від дня народження Олександра Флемінга (Київ, 22 квітня 2016) [Електронне видання], стр.120 .
10. Горобець С.В., Чиж Ю.М. Метод гомогенного магнітомічення мікроорганізмів заснований на магнітогидродинамічному перемішуванні в схрещених електричному і магнітному полях «Біотехнологія ХХІ століття»: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Міністерство освіти і науки України, КПП ім. Ігоря Сікорського, Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії. – К.: КПП ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 188 с.
11. S. GOROBETS, O. GOROBETS, H. MIKESHYNA The role of magnetic nanoparticles in vesicular transport in eukaryotes, The 2nd edition of the Sol-SkyMag International Conference, SanSebastian (Gipuzkoa), Spain, from June 19 to June 23, 2017.

12. S. GOROBETS, O. GOROBETS, O. KOVALYOV, K. HETMANENKO The stability of the magnetic properties of dry magnetically controlled biosorbent on basis of yeast *Saccharomyces cerevisiae*, The 2nd edition of the Sol-SkyMag International Conference, SanSebastian (Gipuzkoa), Spain, from June 19 to June 23, 2017.
13. S. GOROBETS, O. GOROBETS, O. KOVALYOV, K. HETMANENKO The stability of the magnetic properties of dry magnetically controlled biosorbent on basis of yeast *Saccharomyces cerevisiae*, The European Conference PHYSICS OF MAGNETISM 2017 (PM'17), June 26-30, Poznan, Poland.
14. S.V. Gorobets, O.V. Kovalyov, K.A. Hetmanenko The stability of the magnetic properties of dry magnetically controlled biosorbent on basis of yeast *Saccharomyces cerevisiae*, IEEE International Magnetism Conference INTERMAG Europe 2017, April 24th - 28th.
15. Горобець С.В., Горобець О.Ю., Мікешина Г.І. Сили взаємодії магнітних наночастинок з везикулою всередині еукаріотичної клітини. Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України «КПІ», Національна академія наук України, Інститут клітинної біології та генетичної інженерії.– К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 235 с.
16. H. I. Mikeshyna, Y.A. Darmenko, O. Yu. Gorobets, S.V. Gorobets, I. V. Sharay, O.M. Lazarenko . Influence of biogenic magnetic nanoparticles on the vesicular transport / Paper ID: pap-73-cat-8-mikeshyna // Acta Physica Polonica A, 2017.

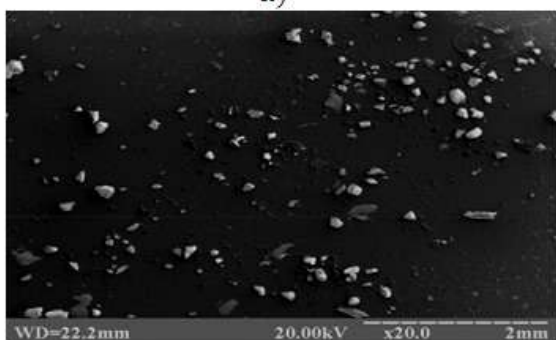
12. Фото розробки:



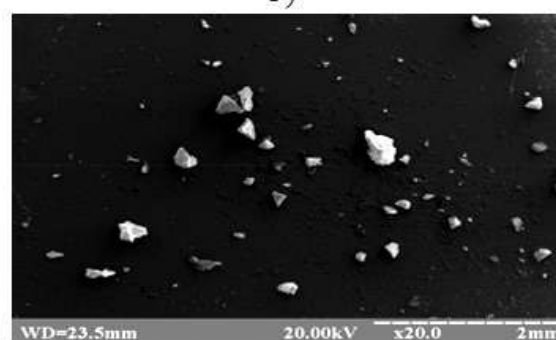
а)



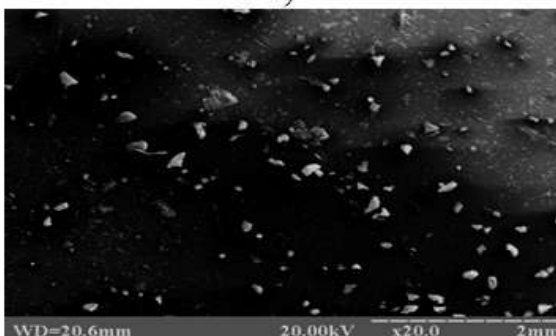
г)



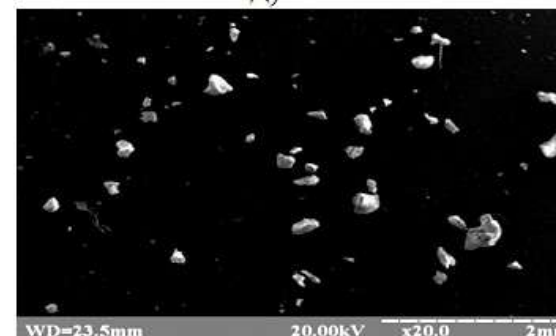
б)



д)



в)



е)

Рисунок 1 – Електронно-мікроскопічне зображення ММБС, виготовленого за механічного перемішування та методом МГДП у схрещених електричному та магнітному полях з різним вмістом магнетиту а) МГДП у схрещених електричному та магнітному полях (0,2 % магнетиту); б) 0,6 % магнетиту; в) 1,0 % магнетиту; г) механічне перемішування (0,2 % магнетиту); д) 0,6 % магнетиту; є) 1,0 % магнетиту.